Digitale Zwillinge (Digital Twins)

Exponentiell wachsende Komplexität

Die Komplexität von Produkten, Systemen und Prozessen sowie unser Verständnis von diesen explodiert. Neuartige Produktionstechnologien, wie die additive Fertigung, erlauben es, Produkte von bisher nicht gekannter Komplexität herzustellen. Die Miniaturisierung der Elektronik ermöglicht es, eine noch vor wenigen Jahren unvorstellbare Rechenleistung in der Cloud sowie an der Edge, d.h. z.B. auf Steuerungen, bereit zu stellen. Unser Wissen in der Medizin wächst schneller, als dass Zusammenhänge verstanden werden. Offene Innovation und Zusammenarbeit führen zu immer komplexeren Unternehmensnetzwerken und -beziehungen - um nur einige Trends zu nennen. Unsere derzeitigen Paradigmen im Umgang mit dieser Komplexität sind nicht mehr in der Lage, diese effizient zu bewältigen.

Die damit einhergehende stark wachsende Digitalisierung verändert nicht nur alles, sondern erzeugt zunehmend neue Herausforderungen. Mit dem Aufkommen neuer Technologietrends wie AI Foundations, Intelligent Things, Cloud to Edge oder Immersive Experiences [1] ist zu erwarten, dass viele der heutigen Paradigmen sich grundlegend ändern werden. Und zwar nicht nur im Consumer-Markt, wo wir heute bereits deutliche Veränderungen beobachten können, sondern auch im industriellen und medizinischen Bereich, wie erste Speerspitzen zeigen.

Digitale Zwillinge

Digital Zwillinge sind ein neuer Technologietrend [4,5], der bereits jetzt einen großen Einfluss verspricht. Sie sind die nächste Welle der Simulationstechnologien (Abbildung 1), die Simulation mit großen Datenmengen und Technologien der künstlichen Intelligenz verschmilzt. Digitale Zwillinge sind heute so wichtig für die Wirtschaft, dass sie zu den Top 10 der strategischen Technologietrends für 2018 von Gartner gehören [1]. Es wird erwartet, dass sie zu einer unternehmerischen Notwendigkeit werden, die den gesamten Lebenszyklus einer Anlage oder eines Prozesses abdeckt. Für viele Produkte und Dienstleistungen werden Digitale Zwillinge eine essentielle Grundlage sein. Unternehmen, die nicht reagieren, werden zurückgelassen. Beispielsweise wird prognostiziert, dass Unternehmen, die in die digitale Zwillingstechnologie investieren, die Zykluszeiten kritischer Prozesse um 30% verbessern werden [2]. Es wird ein Marktpotenzial von 90 Mrd. Dollar pro Jahr für entsprechende Angebote prognostiziert [3].

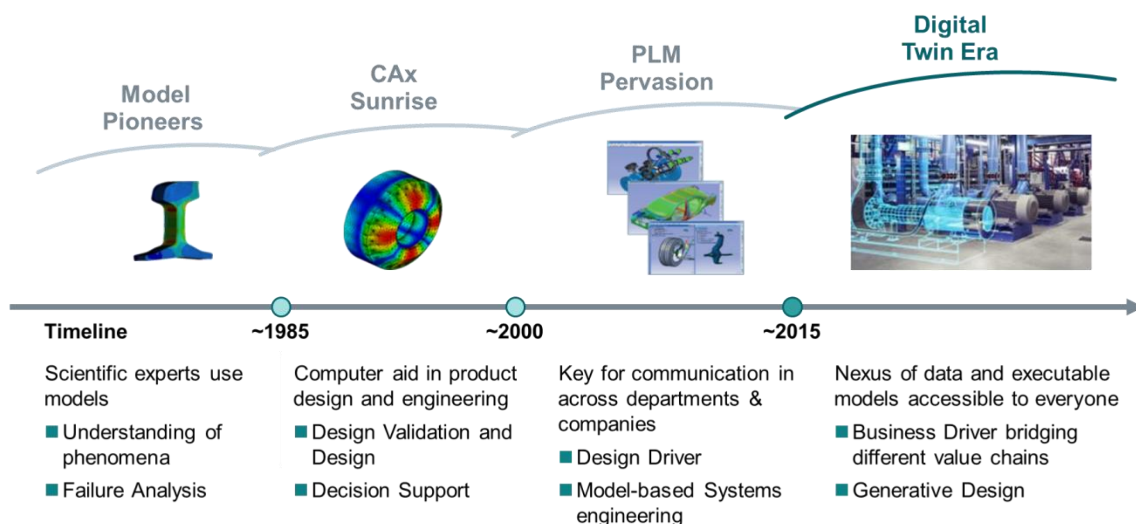


Abbildung 1: Simulation entwickelt sich von einem Troubleshooting Tool hin zu einem zentralen Geschäftstreiber in Form von Digitalen Zwillingen

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.com

Digitale Zwillinge sammeln alle digitalen Kenntnisse, Modelle und Daten während der gesamten Lebensdauer von Produkten und Systemen - von der Idee bis zum Lebensende. Sie integrieren somit modellbasierte Ansätze, auf denen klassische Simulations- und Optimierungsparadigmen aufbauen, sowie datenanalytische Ansätze. Digitale Zwillinge sind leistungsstarke Wegbereiter für Innovationen und Effizienz. Sie kombinieren ingenieurwissenschaftliches Wissen, das oft in Form von ausführbaren Simulationsmodellen vorliegt, mit verfügbaren Daten und künstlicher Intelligenz (Abbildung 2). Durch diese Integration ermöglichen Digitale Zwillinge völlig neuartigen Dienstleistungen, wie simulationsbasierter Überwachung und Diagnose oder prädiktiver Wartung, und eröffnen damit neue Geschäftsmöglichkeiten [2].

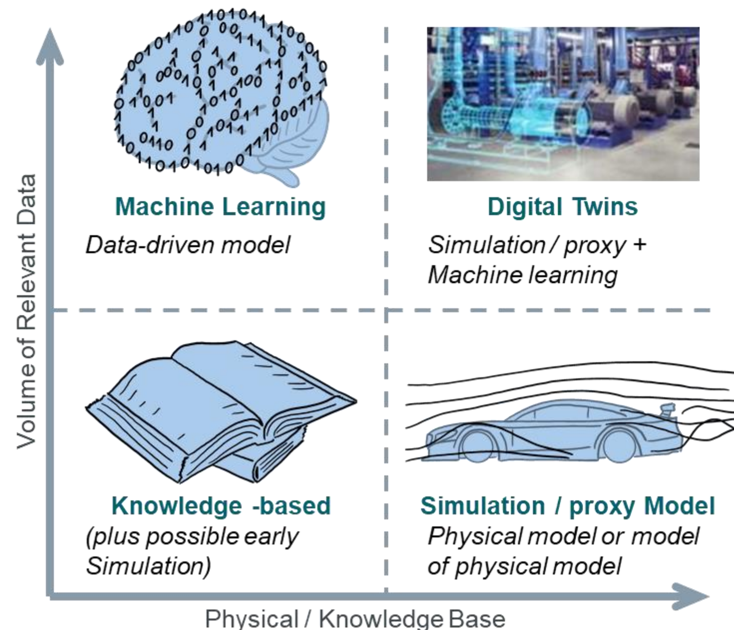


Abbildung 2: Digitale Zwillinge integrieren klassische Simulations-Technologien mit daten-basierten Ansätzen wie künstliche Intelligenz

Viele Komponenten der digitalen Zwillingsvision sind nicht neu. Für fast alle industriellen Bereiche steht eine Vielzahl von kommerziellen und Open Source Software Lösungen zur Modellierung, Simulation und Optimierung (MSO) auf Basis mathematischer Modelle zur Verfügung. Gleichzeitig haben die Lösungen der Künstlichen Intelligenz in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. All dies wird durch immer leistungsfähigere Computer beschleunigt.

Die Fortschritte in den verschiedenen Bereichen allein reichen jedoch nicht aus, um die Vision des Digitalen Zwillings zu erreichen. Aufgrund des hohen manuellen Aufwands für die Integration der verschiedenen Ansätze, werden es sich derzeit nur große Unternehmen mit großen F&E-Abteilungen leisten können, Digitale Zwillinge zu realisieren. Es ist aber wünschenswert, dass Unternehmen aller Größenordnungen von der Entwicklung profitieren.

Hierzu sind neue Generationen von mathematischen Paradigmen erforderlich, um die heutigen stark fragmentierten Ansätze in den verschiedenen Disziplinen zu integrieren. Insbesondere werden neue mathematische und informationstechnische Technologien benötigt, um die vielen Disziplinen zu beschreiben, zu strukturieren, zu integrieren und zu interpretieren.

Technologische Herausforderungen

Derzeit sind Modelle, Methoden, sowie Softwareimplementierungen und Datensätze extrem heterogen und erfordern viele manuelle Interaktionen. Um den zukünftigen Herausforderungen gerecht zu werden, ist es notwendig, neuartige Modellierungs-, Simulations-, und Optimierungs-Paradigmen (MSO) zu entwickeln. Diese neuartigen Ansätze sollten es erlauben, hoch automatisierte modulare Netzwerke von Modellhierarchien zu realisieren (von sehr

realitätsgetreuen physikalischen Modellen bis hin zu sehr groben Ersatzmodellen oder sogar rein datenbasierten Modellen), die mit Multiphysik- und Multiskalensystemen umgehen können. Der Schlüssel dazu wird eine Konvergenz der Methoden der Künstlichen Intelligenz und modellbasierten Ansätzen auf der Basis von physikalischen Grundprinzipien sein. Letztere sind typischerweise die Grundlagen für die heutigen MSO Werkzeuge. Hier kommt der Mathematik als „Sprache" des digitalen Zwillings eine besondere Rolle zu. Neue mathematische Konzepte und Algorithmen sind ebenso grundlegend für die Entwicklung wie aktuelle Edge Computing-Ambitionen, um die die richtigen Informationen am richtigen Ort auf effiziente Weise bereitstellen.

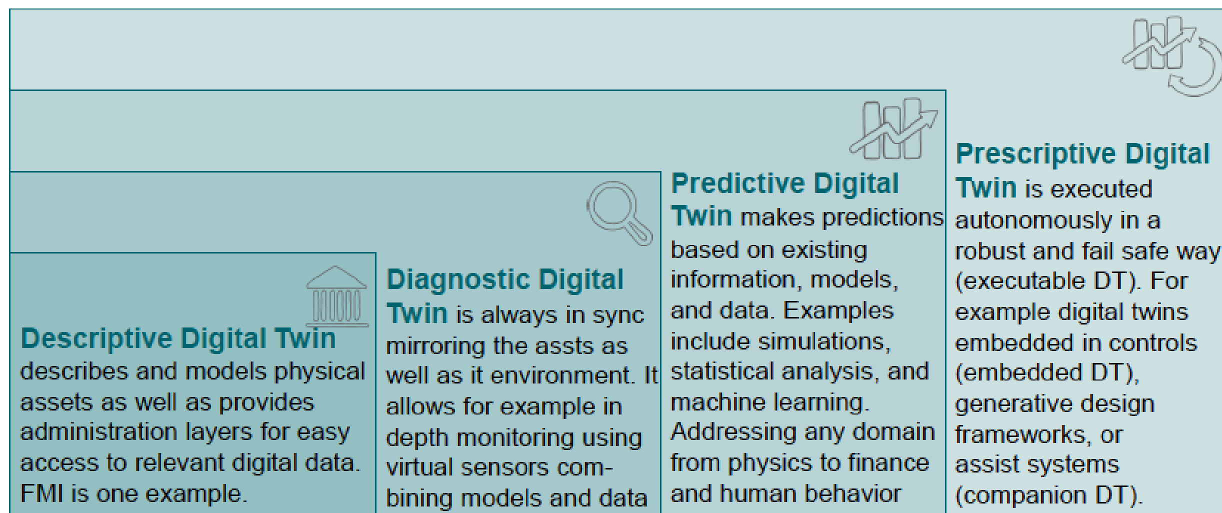


Abbildung 3: Hierarchie der Digital Twin Konzepte, die klassischen MSO-Modelle bilden den JKern der Descriptive Digital Twins als Grundlage für die Higher-Level Zwillinge

Um nur ein paar Herausforderungen zu nennen, sollten die Modellhierarchien

- ☑ in der Lage sein, sich (automatisch) mit der Verfügbarkeit neuer Informationen, Daten oder sogar Änderungen im Prozess weiter zu entwickeln,
- ☑ ermöglichen, adaptive Modelle und Lösungen mit nahtloser Wahl von Genauigkeit und Geschwindigkeit bereitzustellen, insbesondere Echtzeit- und interaktive Simulation und Optimierung,
- ☑ in der Lage sein, die Unsicherheiten und Risiken, die mit den ermittelten Lösungen einhergehen, zu quantifizieren und insbesondere Modelle gegenüber Ungenauigkeiten in den Daten robust zu machen,
- ☑ neue Rechnerarchitekturen, z.B. kombinierte Cloud-Edge-Lösungen, nutzen
- ☑ flexibel für neue Benutzerinteraktionskonzepte sein, damit auch Nicht-Experten von digitalen Zwillingen profitieren können.

Wirtschaftliche Relevanz

Die erfolgreiche Bewältigung dieser Herausforderungen wird nicht nur die Produktivität der Unternehmen an sich steigern, sondern auch neuartige Softwareunternehmen in Verbindung mit einem neuen Markt entstehen lassen. Wie bereits erwähnt, wird hiermittelfristig ein Marktvolumen von ca. 100 Mrd.€/Jahr erwartet. Europa und insbesondere Deutschland verfügt über einzigartige Stärken im Bereich der Modellierung, Simulation, und Optimierung (MSO). Außerdem haben mehrere Marktführer (u.a. Siemens, SAP, DB) Digital Twins als zentrale Vision für ihre jeweiliges R&D-Konzept der nächsten Jahre definiert. Daher ist Deutschland in einer sehr vorteilhaften Ausgangssituation, um die Vision von digitalen Zwillingen voranzutreiben und in dem zukünftig sehr wettbewerbsintensiven Feld eine Maßgebliche Rolle zu spielen.

Referenzen

[1] **Gartner** (2017): Top 10 Strategic Technology Trends for 2018
https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/

[2] **Gartner** (2017): Prepare for the Impact of Digital Twins.
https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/

[3] **Goldmann Sachs** (2018): Double Vision: Using 'Digital Twins' To Pair Virtual And Physical Worlds.
https://youtu.be/AtYEpvnEpp0

[4] **Michael Grieves** (2003): Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication
http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc_mgr/912/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf

[5] **NASA** (2012): The Digital Twin Paradigm for Future NASA and US Air Force Vehicles
https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120008178.pdf

Digital Twins

Complexity is exploding

Complexity is exploding. Novel production technologies like additive manufacturing allow producing products of a complexity not seen before. Miniaturization of electronics allows computing capability on the edge and in the cloud not seen before. Our knowledge in medicine is exponentially growing. Open innovation and collaboration lead to more and more complex business networks and relationships - to name only a few trends.

Our current paradigms in how to manage this complexity are not able to cope with it efficiently any more.

Digitalization changes everything everywhere. With the rise of new technology trends, such as AI Foundations, Intelligent Things, Cloud to Edge, or Immersive Experiences [2], many of today's paradigms can be expected to be disrupted. Not only in the consumer market, as we can clearly observe today, but also in the industrial and medical sector we see disruptions as proven by first early adopters.

Digital Twins

Digital Twins are a relative new technology trend which will have a major impact. They are the next wave in simulation technologies, merging simulation with big data and artificial intelligence technologies. Digital twins are so important to business today, that they were named one of Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends for 2017 [1]. They are becoming a business imperative, covering the entire lifecycle of an asset or process and forming the foundation for connected products and services. Companies that fail to respond will be left behind. For example, it is predicted that companies who invest in digital twin technology will see a 30% improvement in cycle times of critical processes [2]. A potential market of 90bn Dollar per year associated to corresponding offerings is predicted [3].

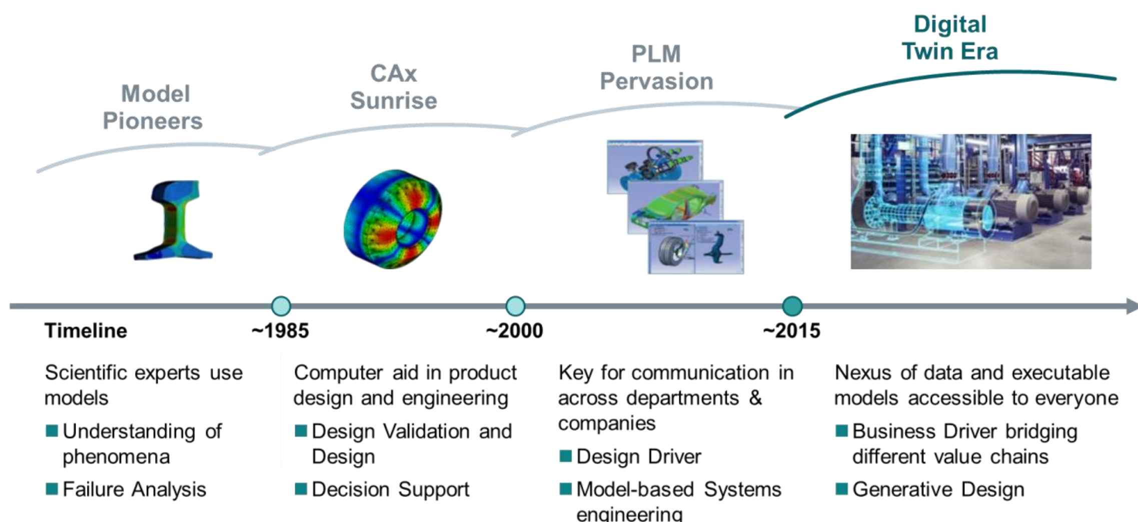


Figure 1: Simulation is evolving from a trouble shooting tool to key business driver in the form of digital twins

Digital Twins accumulate all digital knowledge, models, and data during the complete lifetime of products and systems - from their ideation to their end of life. They thus integrate model-based approaches on which classical simulation and optimization paradigms are built on as well as data analytics based approaches. Digital twins are powerful masterminds for innovation and performance. Combining engineering knowledge with available data novel services such as

simulation-based monitoring and diagnosis or predictive maintenance will open new business opportunities.

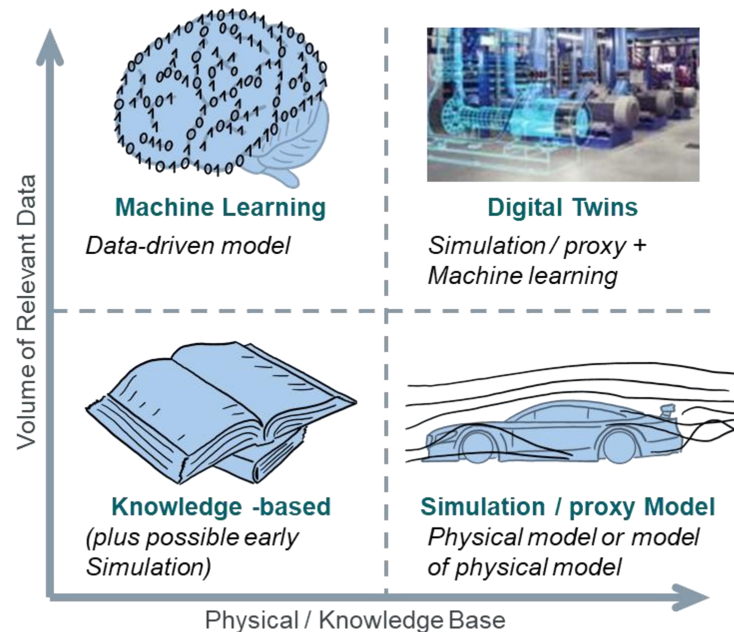


Figure 2: Digital Twins integrate model and simulation based approaches with data-based approaches such as artificial intelligence

Many components of the digital twin vision are not new. For almost all domains of science and engineering and in almost all industrial sectors, model based approaches are well established. A multitude of commercial and open source software for modelling, simulation and optimization (MSO) based on mathematical models is available. At the same time Artificial Intelligence solutions have made huge advances in recent years. All this is fostered by computers becoming more and more powerful.

However, the advancements in the different fields alone are not sufficient to achieve this. Currently, due to the high manual human effort for integration of the various approaches, only major companies with large R&D departments will afford to build digital twins, but it would be desirable that companies on all scales profit from the development. New generations of mathematical paradigms are required to convey today's highly fragmented approaches in the various disciplines. In particular, novel mathematical and computer science technologies are required to describe, structure, integrate, and interpret across many engineering disciplines.

Technology Challenges

Currently, models, methods, as well as software implementations and data sets are of highly different fidelity requiring many manual interactions. To meet the future challenges, it is necessary to develop novel MSO paradigms with a systematic MSO based approach that allows to build highly automated modularized networks of model hierarchies (from very high fidelity physics based models to very coarse, surrogate, or even purely data based models), which can deal with multi-physics and multi-scale systems. Key to this will be a convergence of Artificial Intelligence methods and first principle approaches typically used in MSO by laying down novel mathematical principles as the core language of digital twins. The role of advanced and multi-fidelity modelling is equally fundamental in the development of current Edge Computing ambitions, in order to deliver new services providing the right information at the right place in an efficient way.

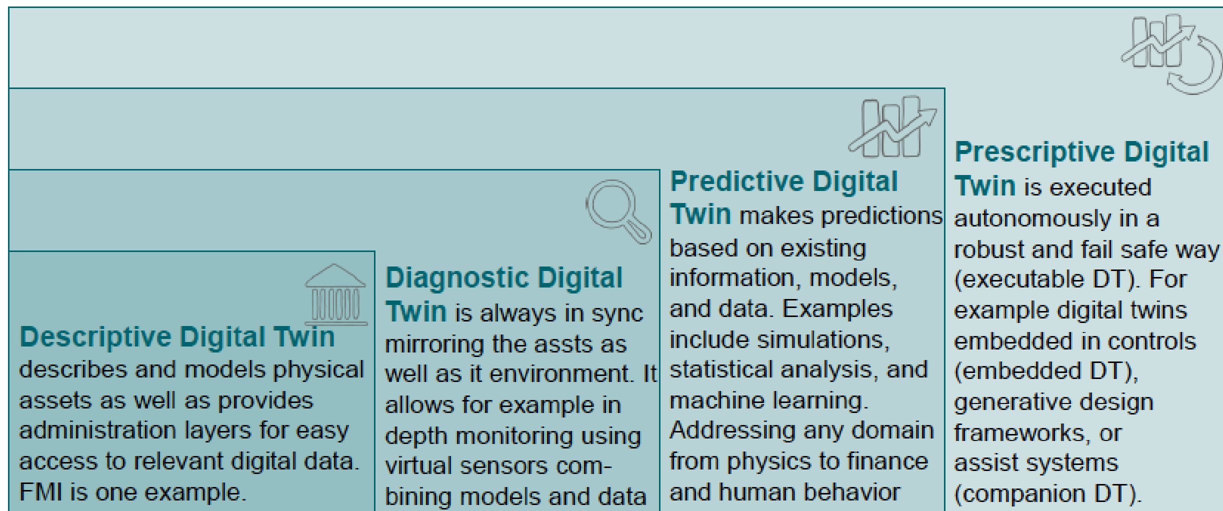


Figure 3: Hierarchy of concepts for Digital Twins:. The classical MSO-model is at the core of Descriptive Digital Twins, which are the foundation for higher-level twins.

Furthermore, the model hierarchies should

- ☑ be able to (automatically) evolve with the availability of new information, data, or even changes in the process,
- ☑ allow adaptive models and solutions with seamless choice of accuracy and speed, in particular allow real-time and interactive simulation and optimization,
- ☑ be able to quantify the uncertainties and risks that come with the determined solutions, and in particular be made robust towards inaccuracies in the data and the model,
- ☑ exploit new computing architectures, e.g. combined cloud - edge solutions,
- ☑ be flexible for new user interaction concepts, to enable also non-experts to benefit from digital twins.

Successfully addressing these challenges, will not only boost productivity of companies per se - 30% improvement in cycle times of critical processes - but also boost novel software companies all together with a potential novel market of at least 90billion dollar [3]. Europe and in particular Germany has unique assets in the field of modelling and simulation. Therefore, Germany is in a very competitive situation to drive the vision of digital twins, merging MSO and data-based approaches such as AI. However, since the digital twin scheme is a major technology trend, other countries are building up quickly competencies, e.g. the US where NASA originally put forward the digital twin concept [4,5].

References

[1] **Gartner** (2017): Top 10 Strategic Technology Trends for 2018 https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/

[2] **Gartner** (2017): Prepare for the Impact of Digital Twins. https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/

[3] **Goldmann Sachs** (2018): Double Vision: Using 'Digital Twins' To Pair Virtual And Physical Worlds. https://youtu.be/AtYEpvnEpp0

[4] **Michael Grieves** (2003): Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc_mgr/912/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf

[5] **NASA** (2012): The Digital Twin Paradigm for Future NASA and US Air Force Vehicles https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120008178.pdf